

Здійснюється перевірка критеріїв впровадження спеціальних смуг на ефективність їх застосування у реальних умовах. З використанням VISUM визначається значення експлуатаційної швидкості автобуса на перегонах вулиці, при наявності та відсутності спеціальних смуг, і на основі цих результатів та критеріїв встановлюється доцільність їх функціонування

Ключові слова: спеціальні смуги, критерій впровадження, перегони вулиць, експлуатаційна швидкість автобуса

Осуществляется проверка критериев внедрения специальных полос на эффективность их применения в реальных условиях. С использованием VISUM определяется значение эксплуатационной скорости автобуса на перегонах улицы, при наличии и отсутствии специальных полос, и на основе этих результатов и критериев устанавливается целесообразность их функционирования

Ключевые слова: специальная полоса, критерий внедрения, перегон улицы, автобус, остановочный пункт

УДК 656.13

DOI: 10.15587/1729-4061.2014.28078

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ КРИТЕРІЇВ ВПРОВАДЖЕННЯ СПЕЦІАЛЬНИХ СМУГ ДЛЯ АВТОБУСІВ З ВИКОРИСТАННЯМ VISUM

Р. М. ЗубачикІнженер відділу організації безпеки
і дорожнього руху

ЛКП «Львівавтодор»

вул. Пасіки Галицькі, 7, м. Львів, Україна, 79035

E-mail: roman.zubachyk@gmail.com

1. Вступ

Стрімке збільшення кількості індивідуального транспорту у великих і значних містах України породило низку транспортних проблем, зокрема таких як перевантаження вуличних мереж дорожнім рухом та виникнення заторів. У зв'язку з цим, зниження завантаження вулично-дорожніх мереж (ВДМ) рухом є сьогодні однією з найгостріших проблем для українських міст і вийшла в ряд найактуальніших як в транспортній так і соціально-економічній сферах.

Проблему зниження завантаженості ВДМ вирішують шляхом розширенням цих мереж (будівництво нових елементів мережі та їх реконструкція) або раціональним її використанням, що найефективніше реалізується за допомогою автоматизованих систем керування дорожнім рухом (АСКДР). Однак, не завжди у міських умовах можна ефективно реалізувати ці підходи. Перший – через функціональні характеристики вулично-дорожніх мереж, значні капіталовкладення та затрати часу, другий – не завжди дає потрібні результати, оскільки не змінює проблему кардинально, а лише її оптимізує. Альтернативою цим традиційним рішенням є третій підхід, який полягає в ефективній організації громадського пасажирського транспорту, що в кінцевому дає змогу скоротити обсяги користування індивідуальними автомобілями, які складають домінуючу частку в існуючих транспортних потоках і цим самим знизити завантаження вуличних мереж.

Найпоширенішими видами громадського пасажирського транспорту у великих і значних містах України є маршрути автобуси (тролейбуси). Серед прогресивних шляхів вдосконалення їх організації на

вулично-дорожній мережі та підвищення транспортного обслуговування є впровадження (виділення або відокремлення) спеціальних смуг на перегонах вулиць. Функціонування спеціальних смуг на перегонах вулиць залежить від багатьох чинників, однак умови їх впровадження, сьогодні, визначаються загальними і недостатньо точними рекомендаціями, тоді як щодо самої доцільності впровадження – практично відсутні адекватні і чіткі критерії.

2. Аналіз досліджень та публікацій

Для перевірки доцільності впровадження спеціальних смуг на перегонах вулиць у [1, 2] запропоновано такі критерії:

- критерій I – кількість смуг руху в одному напрямку (m): $m \geq 3$;
- критерій II – інтенсивність пасажирського руху на спеціальних смугах є не меншою за граничну
- критерій III – стан потоку та рівень завантаження на неперіоритетних смугах;

Умова $m \geq 3$ є обов'язковою, оскільки при $m=2$ для неперіоритетного потоку залишається одна смуга руху, режим і умови руху на якій визначатиметься автомобілем лідером і метою дій його водія.

Математичну модель критерію II запропоновано виражати у вигляді такої нерівності:

$$I_{BC_{jk}} \geq I_{H_{jk}} \text{ при } I_{H_{jk}} \in W, \quad (1)$$

де $I_{H_{jk}}$ – інтенсивність пасажирського руху відповідно на запланованій спеціальній смузі та неперіоритетних

смугах j -го перегону в k -му напрямку, пас./год.; W – оптимальний стан системи «дорожні умови – транспортні потоки».

Розрахунок $\Pi_{BC_{jk}}$ та $\Pi_{H_{jk}}$ для перегону безперервного і регульованого руху виконується за такими формулами:

– для j -го перегону безперервного руху

$$M_{BC_{jk}} \cdot U_{jk} \geq P_{H_{jk}} \cdot Z_{on} \cdot \gamma \cdot Y, \quad (2)$$

– для j -го перегону регульованого руху

$$M_{BC_{jk}} \cdot U_{jk} \geq \sum_{i=1}^r P'_{H_{ji}} \cdot Z_{on} \cdot Y \cdot g, \quad (3)$$

де $M_{BC_{jk}}$ – інтенсивність пріоритетного потоку на j -му перегоні мережі, відповідно до пасажиропотоку на маршруті, од./год.; U_j – загальна місткість маршрутного транспортного засобу на j -му перегоні мережі, пас.; Y – показник, що характеризує середнє заповнення автомобіля пасажирами (за даними [3] $Y=1,2-2,2$); $P_{H_{jk}}$ – пропускна здатність i -ї непріоритетної смуги j -го перегону мережі, авто/год.; Z_{on} – оптимальний рівень завантаження вулиці рухом ($Z_{on}=0,5-0,65$); γ – коефіцієнт багатосмуговості, залежить від числа пріоритетних і непріоритетних смуг руху в одному напрямку; $P'_{H_{ji}}$ – пропускна здатність однієї непріоритетної смуги на підході до q -го регульованого перехрестя j -го перегону; r – кількість непріоритетних смуг руху в одному напрямку на підході до q -го регульованого перехрестя (при $r > 2$ до уваги беруться пропускні здатності двох смуг з найбільшими значеннями); g – оптимальний ступінь насичення руху на підході до регульованого перехрестя ($g=0,95$).

Критерій III, за яким оцінюється стан потоку на непріоритетних смугах, пропонується визначати не нижніми чи верхніми обмеженнями на інтенсивність, а допустимою областю завантаження рухом, значення якої знаходяться в інтервалі від 0 до 0,75 завантаження перегону вулиці рухом.

Для того щоб запропоновані критерії могли застосовуватися на практиці, їх ефективність необхідно перевірити у реальних умовах, зокрема на перегонах міських вулиць і доріг де курсують маршрутні автобуси та тролейбуси. Це дозволяє сформулювати мету, що буде вирішуватися у даній роботі.

3. Мета та задачі дослідження

Мета статті – перевірити ефективність запропонованих автором критеріїв впровадження спеціальних смуг у реальних умовах. Для досягнення цієї мети у роботі вирішуються такі завдання:

- моделювання показників роботи автобусного маршруту на вуличній мережі у середовищі VISUM і перевірка їх адекватності;
- визначення доцільності виділення спеціальних смуг на перегонах вулиць за трьома критеріями з використанням програмного забезпечення.

4. Моделювання показників роботи автобусного маршруту на вуличній мережі та перевірка їх адекватності

Для перевірки ефективності запропонованих критеріїв впровадження (відокремлення або виділення) спеціальних смуг на перегонах вулиць з метою вдосконалення організації руху маршрутних автобусів на ВДМ міста було обрано частину радіальної, магістральної вулиці Стрийська у м. Львові (від перехрестя вулиць Стрийська – Сокільницька до Стрийська – Наукова – Хуторівка). Обрана ділянка розташована у південній частині міста, на якій організовано двосторонній рух. В обох напрямках є три смуги руху, які відділяються одні від одних розділювальною смугою. Вертикальне планування в межах обраної частини, має горизонтальну площадку.

На цій ділянці, в різних її частинах, проходить від 8–9 автобусних та 0–3 тролейбусних маршрути. Для кількісної і якісної оцінки організації громадського транспорту (ГТ) на ВДМ було обрано автобусний маршрут № 3А, який курсує на усій визначеній ділянці. Цей маршрут сполучає центр міста з південною його околицею і рухається в прямому та зворотному напрямках, або складається з двох варіантів маршруту («до центру» та «від центру»), характеристики яких зведено у табл. 1.

Таблиця 1

Характеристики зупинних пунктів та перегонів між ними на обраній ділянці

Напрямок руху	Назва зупинного пункту	Скорочена назва	Назва перегону між зупинками	Довжина, м.
до центру	вул. Сокільницька	А	-	-
	Автовокзал	Б	АБ	684
	вул. Максимовича М.	В	БВ	761
	вул. Гашека Я.	Г	ВГ	231
	вул. Скорини Ф.	Д	ГД	423
	Стрийська – Хуторівка	Е	ДЕ	496
з центру	Стрийська – Наукова	К	-	-
	вул. Скорини Ф.	Л	КЛ	455
	вул. Гашека Я.	М	ЛМ	347
	вул. Максимовича М.	Н	МН	246
	Автовокзал	О	НО	475
	вул. Сокільницька	П	ОП	473

У [4, 5] зазначається, що оцінку якості роботи громадського транспорту на вуличній мережі міста можна здійснювати за багатьма показниками, які виступають у якості критеріїв, однак основними є шляхова та експлуатаційна швидкість руху. Шляхова швидкість автобуса характеризує те, який вплив на його рух по вуличній мережі здійснюють транспортні потоки і їх стан, а також методи організації чи керування на перегонах і перехрестях, тобто її визначають технічна або дозволена швидкість у конкретних дорожніх умовах і транспортні затримки. На величину експлуатаційної

швидкості впливають динамічні характеристики ГТ (сповільнення та прискорення на зупинках), довжина перегонів між зупинними пунктами і тривалість затримок на них (затримки на зупинних пунктах).

Для визначення і аналізу шляхової $V_{ш}$ та експлуатаційної швидкості руху V_E автобусного маршруту № 3А використовується середовище VISUM та отримані у ньому результати транспортної моделі міста, що розроблені у [6]. Ці результати включають різноманітну кількість показників роботи індивідуального і громадського транспорту на вуличній мережі міста одного середньостатистичного робочого дня.

Шляхова швидкість автобуса на перегонах між зупинками визначається за допомогою вбудованого у середовищі VISUM алгоритму на основі значень пропускної здатності елементів вуличної мережі, інтенсивності руху на них та функції CR, що описує зв'язок між інтенсивністю потоку і пропускною здатністю [7]. З використанням однієї з видів цієї функції (наприклад LOHSE [7]) алгоритм розрахунку виконується за такими формулами:

$$V_{ш_j} = \frac{\sum_{i=1}^n L_i}{n \cdot t_{ш_i}}, \quad (4)$$

де

$$t_{ш_i} = t_{r_i} \cdot \left(1 + \left(\frac{M_i}{P_i} \right)^b \right) \text{ при } \frac{M_i}{P_i} \leq 1, \quad (5)$$

$$t_{ш_i} = t_{r_i} \cdot \left(1 + \left(\frac{M_i}{P_i} \right)^b \right) + \left(b \cdot t_{r_i} \cdot \left(\frac{M_i}{P_i} \right)^{b-1} \cdot \left(\left(\frac{M_i}{P_i} \right) - 1 \right) \right) \text{ при } \frac{M_i}{P_i} > 1, \quad (6)$$

де $V_{ш_j}$ – шляхова швидкість руху на j-му перегоні між зупинними пунктами; L_i – довжина i-го перегону вулиці; $t_{ш_i}$ – тривалість руху на i-му перегоні при шляховій швидкості руху; n – кількість перегонів вулиці в межах перегону між зупинками; t_{r_i} – тривалість руху на i-му перегоні, що відповідає швидкості руху у вільних умовах; M_i , P_i – відповідно інтенсивність та пропускна здатність на i-му перегоні вулиці; b – параметр, що визначає ступінь зростання підйому функції CR (в моделі прийнято, що $b=2$).

Розрахунок значень експлуатаційної швидкості автобуса у середовищі VISUM можливий із використанням одного спрощення. Вважається, що автобус миттєво сповільнюється для зупинки висадки/посадки пасажирів, і після неї відповідно розганяється до величини шляхової швидкості. Для усунення цього недоліку тривалість затримок на сповільнення і розгін додають до тривалості затримок на зупинних пунктах, при чому користувач сам задає їх величину окремо для кожної зупинки і маршруту в залежності від виду ГТ та дорожніх умов в зоні зупинок (наприклад, наявність або відсутність заїзних «кишень» тощо).

Враховуючи складність виміру та розрахунку тривалості затримок на сповільнення і прискорення в зонах зупинних пунктів, для розрахунку експлуатаційної швидкості автобуса у середовищі VISUM, використовується відома формула, що наведена у [3],

яка виражена, в тому числі, і через тривалість прискорення і сповільнення:

$$V_E = \frac{3,6 \cdot L_{п_i}}{\frac{V_{ш_j}}{7,2} \cdot \left(\frac{1}{a} + \frac{1}{k} \right) + \frac{3,6 \cdot L_{п_i}}{V_{ш_j}} + d_3}, \quad (7)$$

де V_E – експлуатаційна швидкість руху на j-му перегоні між зупинними пунктами, км/год.; $L_{п_i}$ – довжина j-го перегону між зупинками, м; $V_{ш_j}$ – шляхова швидкість руху на j-му перегоні між зупинками, км/год.; d_3 – тривалість затримки на зупинці, с; a – прискорення, м/с²; k – сповільнення, м/с².

Для величин a та k у [8] пропонуються такі значення: прискорення – 1,3; сповільнення – 1,3.

Затримки на зупинних пунктах d_3 визначались за формулою [9], яка з огляду на особливості, що існують у реальних умовах (водії, здебільшого, здійснюють посадку пасажирів у автобус через одні передні двері, а висадку – через всі можливі), була модифікована до такого вигляду:

$$d_3 = t_{з-в} + \frac{t_{пос} \cdot A_3}{z} + \frac{t_{вис} \cdot A_в}{z}, \quad (8)$$

де $t_{з-в}$ – час на закривання та відкривання дверей ($t_{з-в}=3$ с); $t_{пос}$, $t_{вис}$ – відповідно тривалість на посадку та висадку одного пасажирів ($t_{пос}=1,5$ с; $t_{вис}=1$ с); A_3 , $A_в$ – відповідно кількість пасажирів, що заходять та виходять; z – кількість дверей для входу і виходу пасажирів.

Кількість пасажирів, що виходять та заходять у салон одного автобуса, визначаються із рівномірного поділу годинних значень пасажирів, що входять та заходять на конкретному зупинному пункті на кількість поїздок здійсненим автобусом впродовж години у вибрані періоди дня (відповідно до розкладів його руху).

Для перевірки адекватності значень затримок на зупинних пунктах та експлуатаційної швидкості руху автобуса реальним даним, додатково було проведено натурні дослідження. Вони проводились в усі будні дні одного тижня в осінній період року, в процесі яких встановлювалися тривалість руху автобусного маршруту на перегонах між зупинками $t_{ш}$ та величину затримок на зупинних пунктах d_3 , впродовж ранкових піків (з 7:30 до 9:30), у міжпікові періоди (з 10:30 до 12:30) та у вечірні піки (з 17:00 до 20:00).

Тривалість кожного з трьох періодів є незначною щоб провести необхідну кількість вимірювань (згідно [10] від 20 до 50), та з достатньою точністю і ймовірністю визначити можливий розкид їх значень. Тому приймалось, що отримані значення замірів $t_{ш}$ і d_3 з понеділка по п'ятницю є числовою кількістю одного ряду вимірювань.

Значення тривалості руху між зупинними пунктами $t_{ш}$ включають тривалість сповільнення і прискорення автобуса на зупинках, тому не можуть використовуватися для розрахунку шляхової швидкості автобуса (визначення її реальних значень вимагає додаткових технічних засобів для експерименту), а результати – порівнюватися з отриманими результатами моделюванням.

З величин $t_{ш}$ і d_3 розраховувалась експлуатаційна швидкість для кожної однорідної ділянки обраного

маршруту, а також встановлювалось варіювання її значень у вибрані періоди доби.

Результати натурних досліджень тривалості затримок на зупинних пунктах (середнє арифметичне, середньоквадратичне відхилення) та їх моделювання у VISUM, а також відхилення між ними наведені в табл. 2. Значення експлуатаційної швидкості руху автобуса на маршруті 3А у прямому та зворотному напрямках, що отримані з натурних досліджень і з моделювання наведено на рис. 1, а–е.

Таблиця 2

Результати досліджень тривалості затримок на зупинних пунктах

Назва зупинки	Натурні дослідження, с						Моделювання у VISUM, с			Абсолютне відхилення, с		
	ранковий пік (РП)		непиковий період (НП)		вечірній пік (ВП)		РП	НП	ВП	РП	НП	ВП
	\bar{d}_3	σ	\bar{d}_3	σ	\bar{d}_3	σ						
до центру												
А	26,0	14,0	11,2	8,1	4,5	6,6	22,4	15,9	8,1	3,6	4,8	3,6
Б	63,3	46,3	45,3	32,8	28,5	25,0	24,6	13,5	15,0	38,7	31,8	13,5
В	22,2	10,5	13,7	9,3	5,0	5,7	18,4	13,3	9,0	3,8	0,4	4,0
Г	19,2	14,2	16,5	9,4	6,0	5,2	20,1	14,9	10,6	0,8	1,7	4,6
Д	33,2	18,8	23,7	9,2	22,1	18,1	39,9	17,9	18,0	6,7	5,7	4,1
Е	41,0	22,2	30,5	12,2	43,6	25,8	51,5	25,7	32,6	10,5	4,8	11,0
з центру												
К	23,0	7,9	13,5	8,4	19,5	5,5	33,1	15,6	15,9	10,1	2,1	3,6
Л	10,7	5,2	15,7	6,4	24,9	14,8	14,6	11,3	22,0	4,0	4,3	2,8
М	6,0	1,5	5,0	2,8	9,5	3,7	5,5	4,8	4,9	0,5	0,2	4,6
Н	6,2	4,0	3,7	4,5	11,1	4,2	7,3	6,0	8,3	1,1	2,3	2,8
О	8,6	3,1	12,0	7,8	13,4	7,6	5,3	9,2	7,2	3,3	2,8	6,2
П	8,0	6,6	2,5	2,8	7,4	2,3	4,2	3,8	4,0	3,8	1,3	3,4

З табл. 2 видно, що найбільші значення затримок на зупинних пунктах спостерігаються у ранковий та вечірній піки, відповідно, на маршруті в напрямку центру та від центру. Така ситуація зумовлена вираженою нерівномірністю пасажиропотоків у прямому та зворотному напрямках, що існує на маршруті (зранку, масовий рух людей до центральної частини міста, ввечері, їх повернення). Хоча на деяких зупинних пунктах значення \bar{d}_3 є нижчими ніж у інші вибрані періоди (зупинка Е та К).

На маршруті в напрямку до центру найбільше значення затримки спостерігається на зупинці Б у ранковий пік, а у непіковий період та вечірній пік – відповідно на зупинці Б та Е. Якщо у першому випадку великі значення затримок зумовлені самовільним збільшенням водіїв тривалості зупинки, то в другому – інтенсивним пасажирооборотом на ній. В напрямку від центру, виражених значних значень \bar{d}_3 в усі вибрані періоди не спостерігається (зумовлено тим, що пасажирообмін, здебільшого, сконцентрований на висадку пасажирів).

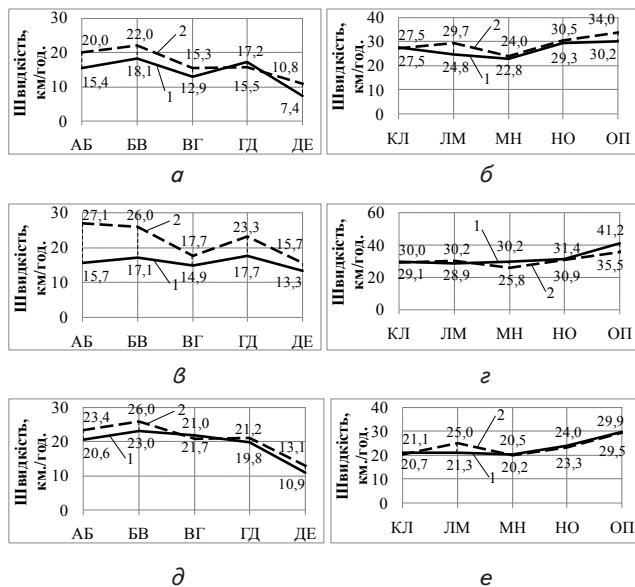


Рис. 1. Значення експлуатаційної швидкості руху автобуса: а, б, в – відповідно ранковий пік, непіковий період, вечірній пік для напрямку «до центру»; б, г, е – відповідно ранковий пік, непіковий період, вечірній пік для напрямку «від центру»; 1 – натурні дослідження; 2 – моделювання у VISUM

Середньоквадратичні відхилення значень затримок на зупинних пунктах показують, що значний їх розкид спостерігається у ранковий пік на маршруті у прямому напрямку, тоді як у зворотному напрямку у вечірній пік є незначними. У непіковий період, на маршруті в напрямку центру, розкид значень \bar{d}_3 є близьким до вечірнього, а у ранковий пік на зворотному напрямку – близьким до непікового періоду. Однак на зупинних пунктах, які постійно користуються значним пасажирооборотом, стандартні відхилення \bar{d}_3 є значними у всі періоди (зупинка Е).

В загальному, значення затримок при моделюванні є меншими ніж ті, що отримані з натурних досліджень (в обох напрямках). Хоча існують зупинки, на яких значення \bar{d}_3 , що отримані з моделювання є більшими за натурні (зупинка Е та К). Ці особливості пояснюються тим, що середнє значення тривалості посадки та висадки одного пасажирів у автобус, зокрема у непіковий період, є або значно більшими або значно меншими ніж величини, які закладалися у модель. По-друге, затримки на зупинних пунктах у моделі визначалися із відношення кількості пасажирів, що виходять та заходять у автобус за одну з пікових або непікових годин до кількості одиниць автобусного маршруту, що відповідають інтервалу руху в цей період (такий рівномірний розподіл не завжди відповідає реальним умовам).

З рис. 1 видно, що значення експлуатаційної швидкості, отримані з моделювання, найадекватніше відтворюють її реальні значення у вечірній пік на маршруті в напрямку до центру, і у ранковий пік – в напрямку від центру. Тоді як найбільші відхилення спостерігаються у непіковий період у двох напрямках, причому в прямому напрямку значення V_E при моделюванні є більшими за натурні на всій обраній довжині маршруту (абсолютне відхилення між ними досягає величини 11,4 км/год.).

Аналіз результатів дослідження дозволяє стверджувати, що значення експлуатаційної швидкості, які отримані з використанням VISUM загалом, адекватно відтворюють реальні умови руху автобуса на вуличній мережі. З огляду на це, модель транспортної системи міста у VISUM та його характеристики можуть використовуватися для оцінки зміни умов руху після впровадження спеціальних смуг на перегонах вулиць.

5. Застосування критеріїв впровадження спеціальних смуг на перегонах вулиці

Для підвищення експлуатаційної швидкості руху автобуса та вдосконалення організації його роботи на вуличній мережі пропонується впровадити спеціальні смуги на перегонах вулиць. Відповідно до умови критерію I спеціальні смуги можна виділяти на усій обраній ділянці не перериваючи на перехрестях.

Перевірка доцільності впровадження спеціальних смуг за критерієм II виконується за формулою (1), при цьому її розрахунок здійснюється у середовищі VISUM, де для деяких основних залежностей і вхідних характеристик створюється додаткові атрибути, що легко задаються користувачем. Згідно цієї формули значення годинної інтенсивності пасажирського руху у ранковий пік, непіковий період та вечірній пік для кожного перегону вулиці, порівнюються з їх граничними значеннями (рис. 2, а–е).

З рис. 2, чітко видно, що в напрямку до центру виділення спеціальних смуг є доцільним на перегонах між зупинними пунктами БВ, ВГ, ГД, ДЕ. Виключення складає перегін АБ, де інтенсивність пасажирського руху є недостатньою у всі вибрані періоди активної частини доби. У зворотному напрямку впровадження спеціальних смуг доцільно на усіх перегонах між зупинками у непіковий період та вечірній пік, чого не можна стверджувати про ранковий пік, де на всій ділянці спостерігається незначна інтенсивність пасажирського руху.

Перевірка доцільності виділення спеціальних смуг на перегонах вулиць за критерієм III здійснюється відповідно до алгоритму розрахунку, що запропонований у [2]. Ключовим етапом у цьому алгоритмі є прогнозування зміни інтенсивності руху і рівня завантаження на неперіоритетних смугах після впровадження на перегонах вулиць спеціальних смуг.

Прогноз зміни інтенсивності та розподіл її значень на мережі проводиться у середовищі VISUM, за алгоритмом моделювання, який включає три етапи. На першому етапі у VISUM створюються дві файл-версії (масиви даних про ВДМ та попит на транспорт), в одній з яких у моделі мережі, що представлена у вигляді вузлів та дуг між ними, змінюються параметри дуг на обраній ділянці вуличної мережі, зокрема кількість пріоритетних і неперіоритетних смуг та пропускну здатність. Пропускна здатність перегонів вулиць (дуг), що залишається для неперіоритетних потоків встановлюється із параметрів керування їх перехресть (вузлів).

Впродовж другого етапу у VISUM виконується процедура перерозподілу транспортних потоків, за якою матриця кореспонденцій індивідуального транс-

порту розподіляється на модель мережі, в якій відбулися зміни. При чому, одним із основних критеріїв вибору шляху при переміщенні між і-м районом-джерела та j-м районом-цілью є тривалість руху на елементах мережі.

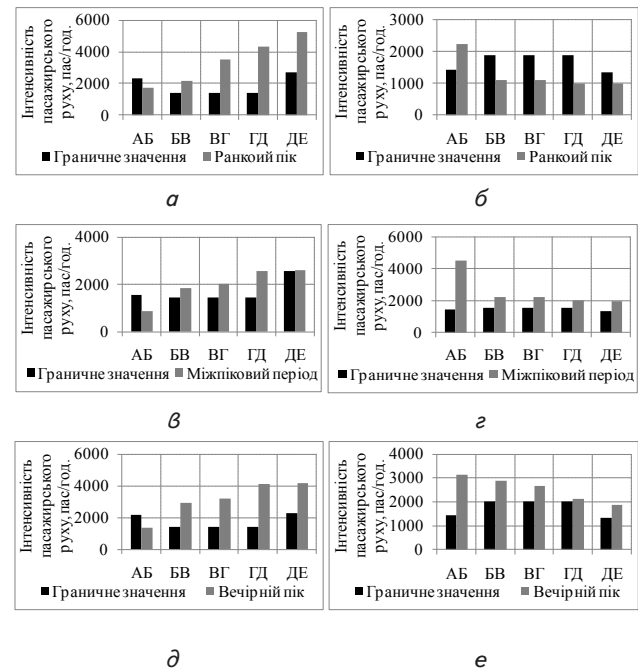


Рис. 2. Доцільність впровадження спеціальних смуг на перегонах вулиць за критерієм II: а, б, в, г, д – відповідно ранковий пік, непіковий період, вечірній пік для напрямку «до центру»; б, г, е – відповідно ранковий пік, непіковий період, вечірній пік для напрямку «від центру»

На третьому етапі дві файл-версії, що, відповідно, містять розподіл потоків в моделі мережі, зі зміненими і незміненими параметрами, порівнюються з використанням закладного у VISUM алгоритму «відмінність мереж».

Результати прогнозів зміни інтенсивності транспортних потоків у вибрані періоди дня на обраній ділянці вуличної мережі наведені у табл. 3, а розподіл транспортних потоків по мережі на рис. 3 (в якості прикладу взято ранковий пік).

Як видно з рис. 3, функціонування на окремих елементах вуличної мережі спеціальних смуг для ГТ призводить до того, що деякі водії ТЗ обирають інші шляхи для руху (вказано червоним кольором на рис. 3), в результаті чого знижується інтенсивність руху потоку на неперіоритетних смугах (визначено у табл. 3). Це пов'язано з тим, що виділення пріоритетних смуг, практично завжди, утворюють часткові обмеження на елементах мережі з позиції їх пропускну здатності для неперіоритетного потоку.

На основі прогнозних значень інтенсивності визначається рівень завантаження на неперіоритетних смугах і порівнюється з допустимою областю завантаження (рис. 4, а, б).

З рис. 4 видно, що з позиції стану потоку на неперіоритетних смугах є недоцільним впровадження спеціальних смуг на перегоні між зупинними пунктами АБ у ранковий пік, і на ДЕ – у ранковий та вечірній піки.

Таблиця 3

Зменшення інтенсивності руху транспортних потоків на перегонах вулиці

Перегін вулиці між зупинками	Активний період доби					
	ранковий пік		непіковий період		вечірній пік	
	абсолют. знач., авто/год.	частка від заг. значення, %	абсолют. знач., авто/год.	частка від заг. значення, %	абсолют. знач., авто/год.	частка від заг. значення, %
АБ	121	10	60	10	106	10
БВ	110	9	55	9	96	9
ВГ	110	9	55	9	96	9
ГД	65	6	71	12	124	12
ДЕ	141	12	71	12	124	12
КЛ	44	5	27	6	63	5
ЛМ	58	6	33	6	83	6
МН	46	5	27	5	67	5
НО	50	5	28	5	71	5
ОП	50	5	28	5	70	5

Після перевірки доцільності впровадження спеціальних смуг на обраній ділянці вуличної мережі за трьома критеріями, слід, також, перевірити зміну експлуатаційної швидкості автобусного маршруту при їх функціонуванні.

Розрахунок значень експлуатаційної швидкості



Рис. 3. Розподіл транспортних потоків на вуличній мережі після впровадження спеціальних смуг на перегонах вулиці: зелений – відповідно зменшення та збільшення інтенсивності транспортних потоків

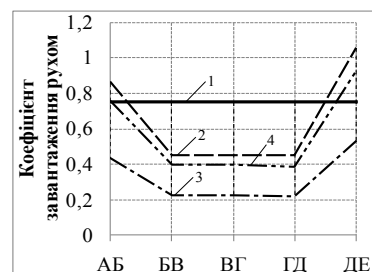
здійснюється за формулою (7) з використанням VISUM, при цьому для точнішого визначення експлуатаційної швидкості руху, яка б відповідала реальним її значен-

ням доцільно використовувати значення затримок на зупинних пунктах, що отримані з натурних досліджень.

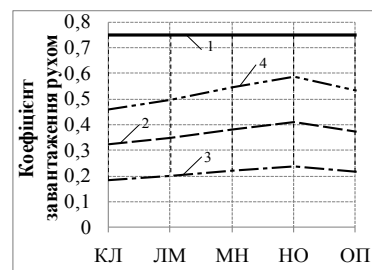
Результати значень експлуатаційної швидкості автобуса при наявності і відсутності спеціальних смуг наведено на рис. 5, а–е.

Як зазначається у [8], підвищення експлуатаційної швидкості руху громадського транспорту на 1,6 км/год. є ефективним рішенням щодо вдосконалення його роботи на вуличній мережі та виправдовують економічну доцільність впровадження заходів з надання їм пріоритету у русі. Відповідно до цієї умови, впровадження спеціальних смуг не підвищує ефективність роботи автобусного маршруту на перегонах між зупинними пунктами ЛМ і МН у ранковий та непіковий період, а також на ОП у непіковий період.

Доцільність функціонування спеціальних смуг на визначеній ділянці мережі у двох напрямках за трьома критеріями та зміна значень експлуатаційної швидкості при їх впровадженні можна узагальнити у вигляді таблиці (табл. 4), де 1 та 0 вказують, відповідно, на позитивний та негативний результат.



а



б

Рис. 4. Доцільність впровадження спеціальних смуг за критерієм III: а – до центру; б – від центру; 1 – верхня межа допустимої області завантаження на непріоритетних смугах; 2 – ранковий пік, 3 – непіковий період; 4 – вечірній пік

Таблиця 4

Доцільність впровадження ВС у табличному виді

Типи обґрунтування	Активний період доби	Перегони між зупинними пунктами									
		до центру					у зворотному напрямку				
		АБ	БВ	ВГ	ГД	ДЕ	КЛ	ЛМ	МН	НО	ОП
Критерій I		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Критерій II	ранковий пік	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0
	непік. період	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	вечірній пік	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Критерій III	ранковий пік	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1
	непік. період	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	вечірній пік	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1
Експлуатаційна швидкість	ранковий пік	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1
	непік. період	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0
	вечірній пік	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

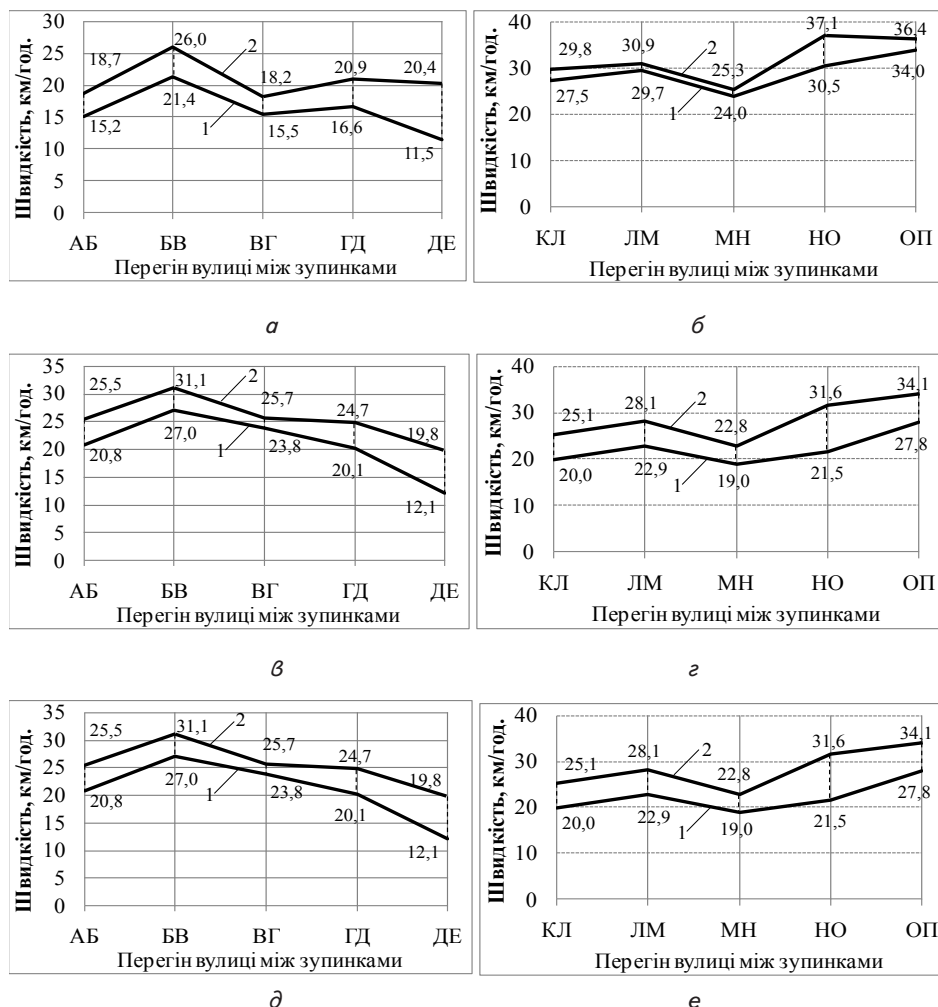


Рис. 5. Експлуатаційна швидкість руху автобуса на маршруті:
 а, в, д – відповідно ранковий пік, непіковий період, вечірній пік для напрямку «до центру»; б, г, е – відповідно ранковий пік, непіковий період, вечірній пік для напрямку «від центру»; 1 – відсутність спеціальних смуг; 2 – наявність спеціальних смуг

6. Висновки

У дослідженні проводилась перевірка запропонованих критеріїв впровадження спеціальних смуг на

ефективність їх застосування у реальних умовах, зокрема на перегонах магістральної вулиці. Отримані результати дозволяють сформулювати таке:

1. Значення експлуатаційної швидкості автобуса, що отримано з VISUM є близькими до тих, які визначені при натурних дослідженнях. Ці результати дали підставу використовувати транспорту модель міста у середовищі VISUM для оцінки показників роботи автобуса при наявності та відсутності спеціальних смуг на перегонах вулиць.

2. Показник експлуатаційна швидкість автобуса використовується як для оцінки доцільності функціонування спеціальних смуг на перегонах вулиць, так і ефективності самих критеріїв впровадження.

3. За допомогою програмного забезпечення VISUM встановлено прогнози зміни інтенсивності транспортних потоків як на перегонах вулиці обраної ділянки, так і на усіх елементах вуличної мережі міста при виділенні спеціальних смуг для громадського транспорту.

4. Результати дослідження дозволяють стверджувати про справедливості прийнятих гіпотез у

теоретичних дослідженнях, засвідчують ефективність запропонованих критеріїв впровадження спеціальних смуг на перегонах вулиць, їх простоту використання та придатність застосування на практиці.

Література

- Вікович, І. А. Розробка основного критерію впровадження спецсмуг на перегонах вулиць для громадського транспорту [Текст] / І. А. Вікович, Р. М. Зубачик // Східно-Європейський журнал передових технологій. Науковий журнал. – 2011. – № 6/4 (54). – С. 28–34. – Режим доступу: <http://journals.urau.ua/eejet/article/view/2259/2063>
- Дмитриченко, М. Ф. Розробка алгоритму дій щодо впровадження спеціальних смуг на перегонах вулиць для громадського транспорту [Текст] / М. Ф. Дмитриченко, І. А. Вікович, Р. М. Зубачик // Вісник Національного транспортного університету: наук.-техн. зб. – 2011. – № 24. – С. 15–22.
- Клиновштейн, Г. И. Организация дорожного движения [Текст] : учеб. для вузов. / Г. И. Клиновштейн, М. Б. Афанасьев; 5-е изд. – М.: Транспорт, 2001. – 247 с.
- Гаврилов, Е. В. Организация дорожного руху [Текст] / Е. В. Гаврилов, М. Ф. Дмитриченко, В. К. Доля. – К.: Знання України, 2007. – 452 с.
- Хомяк, Я. В. Организация дорожного движения [Текст] / Я. В. Хомяк. – К.: Вища школа, 1986. – 270 с.
- Вікович, І. А. Моделювання попиту на індивідуальний та громадський транспорт з використанням програмного забезпечення VISUM [Текст] / І. А. Вікович, Р. М. Зубачик // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. Володимира Даля: науковий журнал. – 2012. – № 6 (177), Ч. 1. – С. 193–203.

7. VISUM 11.0 Fundamentals [Text] / PTV AG, Karlsruhe, 2009. – 690 p.
8. Рэнкин, В. У. Автомобильные перевозки и организация дорожного движения [Текст] / В. У. Рэнкин, П. Клафи, С. И. Халберт др. – М.: Транспорт, 1981. – 592 с.
9. Доля, В. А. Пасажирські перевезення [Текст]: пудр. / В. К. Доля. – Харків: Видавництво «Форт», 2011. – 504 с.
10. Гаврилов, Е. В. Основи теорії систем і управління. [Текст] / Е. В. Гаврилов, М. Ф. Дмитриченко, В. К. Доля, О. Т. Лановий, І. Е. Линник, В. П. Поліщук. – К.: Знання України, 2005. – 344 с.

Побудовано математичні моделі конкурентних процесів в економіці з використанням відомих універсальних моделей, що описують поведінку контрагентів на ринку. На основі математичної моделі Лотки-Вольтерра і подальшого її розвитку створена математична модель "виробник-перекупник", побудована її модифікована версія, проведені дослідження моделей, у тому числі і мульти-агентних, за допомогою математичного пакета Mathcad. Виявлено нестабільність поведінки контрагентів

Ключові слова: математична модель, економіка, конкуренція, модифікація, модель Лотки-Вольтерра, виробник, перекупник, Mathcad, нестабільність

Построены математические модели конкурентных процессов в экономике с использованием известных универсальных моделей, описывающих поведение контрагентов на рынке. На основе математической модели Лотки-Вольтерра и дальнейшего её развития создана математическая модель "производитель-перекупщик", построена её модифицированная версия, проведены исследования моделей, в том числе и мульти-агентных, с помощью математического пакета Mathcad. Выявлены нестабильность поведения контрагентов

Ключевые слова: математическая модель, экономика, конкуренция, модификация, модель Лотки-Вольтерра, производитель, перекупщик, Mathcad, нестабильность

УДК 28.17.19

DOI: 10.15587/1729-4061.2014.27855

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ КОНКУРЕНТНЫХ ПРОЦЕССОВ

В. А. Аль-Рефаи

Аспирант*

Email: wamralal@yahoo.com

И. В. Наумейко

Кандидат технических наук, доцент*

Email: igor.naumejko@mail.ru

*Кафедра прикладной математики

Харьковский национальный

университет радиоэлектроники

пр. Ленина, 14, г. Харьков, Украина, 61166

1. Введение

Экономические системы всегда считались очень сложными, динамика рынка – хаотической, поэтому исследования в данной области проводились в большинстве случаев на основе статистических данных прошедших лет. Построение экономических прогнозов и расчёт перспектив дальнейшего развития, в некоторой мере, являлись лишёнными научной основы предположениями, не имеющими никаких весомых оснований для рационального использования и претворения гипотез в жизнь. Математическое моделирование с использованием современных компьютерных технологий предоставляет возможность изучить характер той или иной экономической ситуации, перспективы, гипотезы, затрачивая на эксперименты гораздо меньшие временные и материальные ресурсы. Таким образом, математические и имитационные модели экономических процессов всегда были и остались актуальны, поскольку предоставляют возможность промоделировать за малое время то, что крайне сложно и долго испытывать в реальной жизни [1].

Общеизвестно, что важнейшим инструментом развития экономики является конкуренция. Также конкурентные процессы имеют место быть и в других областях, таких как биология, экология, психология, военное дело, логистика и большая часть проблем исследования операций и многокритериальной оптимизации процессов. Все эти области знаний и деятельности обслуживаются математическими моделями одного класса – уравнениями динамических систем. Базовыми в этом классе моделей являются логистические уравнения, а также их системы, которые впервые предложил и исследовал Вольтерра еще в начале XX века. Он положил начало исследованию, так называемых, "мягких" моделей, варианты которых предлагаются в настоящей работе для описания конкуренции за прибыль в системе "производитель-перекупщик" (часто называемый "оптовым покупателем").

2. Анализ литературных данных и постановка проблемы

Конкурентные процессы – одна из наиболее значимых областей в экономике. От развития конкуренции